

刘 皓,安晓芹,史宗源,等. 不同改良措施对连作色素万寿菊生长发育及根际土壤环境的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):136-143.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.020

不同改良措施对连作色素万寿菊生长发育及根际土壤环境的影响

刘 皓¹, 安晓芹¹, 史宗源¹, 孙永民², 韩文杰³

(1. 新疆农业大学林学与风景园林学院,新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆维吾尔自治区花卉业管理中心,新疆乌鲁木齐 830052;
3. 晨光生物科技集团莎车有限公司,新疆莎车 844700)

摘要:为缓解色素万寿菊连作障碍,探究不同土壤改良措施对色素万寿菊生长发育及根际土壤环境的影响。以连作 7 年的色素万寿菊为对照,设置色素万寿菊-小麦轮作、农家肥、生物有机肥、色素万寿菊秸秆还田及玉米秸秆还田 5 组处理,观测比较色素万寿菊生长发育状况和根际土壤环境变化。结果表明,轮作、施入生物有机肥和农家肥处理均改善了色素万寿菊根际土壤微生物结构,提升了土壤养分以及土壤酶活性,提高土壤细菌数量/真菌数量(B/F 值),促进了色素万寿菊生长发育,其中轮作处理土壤 B/F 值高达 111.42,枯萎病和褐斑病发病率和病情指数极显著降低,植株冠幅、茎粗、株高、分枝数均显著增加,盛花期显著延长,鲜花、叶黄素产量分别达 71.52 t/hm²、130.84 kg/hm²。色素万寿菊秸秆还田处理不仅土壤 B/F 值降低,土壤碱解氮含量亦显著下降;玉米秸秆还田处理虽然提升了土壤 B/F 值,但其土壤速效钾含量显著下降;整体而言,2 个处理鲜花产量分别降低了 1.03%、5.95%,叶黄素产量分别降低了 6.35%、3.64%,表现为不利于色素万寿菊的生长发育。综合比较,色素万寿菊-小麦轮作处理改良效果最优,起到了缓解色素万寿菊连作障碍的作用。

关键词:色素万寿菊;连作障碍;缓解措施;生长发育;根际土壤

中图分类号:S682.1+10.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)06-0136-08

万寿菊(*Tagetes erecta* L.)为菊科万寿菊属一年生草本植物,应用中主要分为观赏品种、色素品种。色素万寿菊主要用于叶黄素的提取,在食品、医药、化妆品和饲料添加剂等方面应用广泛。近年来,国内外对叶黄素的需求量逐年增加,市场供不应求^[1],我国色素万寿菊的种植面积也逐年扩大。但

是随着种植年限的增加以及长期过量施用化肥等因素影响,色素万寿菊连作障碍问题日渐突出,主要表现为植株长势衰退,病虫害日趋严重,产量和质量降低,土壤环境劣变等。目前,连作障碍已成为制约色素万寿菊产业可持续发展的重要因素之一。研究表明,造成菊科植物连作障碍的影响因子主要包括土壤微生物区系的变化、土壤理化性质恶化、土壤酶活性改变、土壤养分失衡以及化感自毒作用等^[2-4]。据报道,轮作、有机肥、秸秆还田、生物肥^[5-7]均可有效改善土壤环境、提升菊花品质和产量,是克服菊科植物连作障碍的有效途径,然而关于缓解色素万寿菊连作障碍方面的研究未见报道。

收稿日期:2022-04-02

基金项目:南京农业大学-新疆农业大学联合基金(编号:2019)。

作者简介:刘 皓(1997—),男,河南洛阳人,硕士,主要从事花卉栽培与生理研究。E-mail:lhdcme@163.com。

通信作者:安晓芹,博士,副教授,主要从事风景园林植物应用研究。

E-mail:184580644@qq.com。

[12] Menatti L, Heft H. Editorial: changing perspectives on landscape perception: seeking common ground between the psychological sciences and the humanities[J]. *Frontiers in Psychology*, 2020, 11: 00159.

[13] 季春悦,黄 硕,成林莉,等. 基于视觉感知的夏季城市公园植物景观情绪影响机制[J]. *中国城市林业*, 2022, 20(2): 1-13.

[14] Fan X, Zhou B, Wang H X. Urban landscape ecological design and stereo vision based on 3D mesh simplification algorithm and artificial intelligence[J]. *Neural Processing Letters*, 2021, 53(4): 2421-2437.

[15] Danahy J W. Technology for dynamic viewing and peripheral vision in landscape visualization[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 54(1/2/3/4): 125-137.

[16] 吴桂宁,张 琪. 可园空间视觉特征的量化研究[J]. *古建园林技术*, 2015(3): 23-27.

[17] 孟东生,刘 叶,徐 宁. 浅析中国古典园林景观空间层次的营造手法[J]. *艺术与设计(理论)*, 2018, 2(10): 60-62.

[18] 陈 宇,涂 钧. 南京晚清宅第园林空间构形及量化研究——以甘熙故居为例[J]. *中国园林*, 2018, 34(7): 140-144.

本研究以连作区域色素万寿菊为试材,探究不同调控措施对色素万寿菊生长发育的影响以及根际土壤环境的改良效果,以期为色素万寿菊连作障碍缓解提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与材料

试验于 2021 年 4—9 月在新疆莎车县恰热克镇库木阿格孜村(38°37'N,76°97'E)进行,种植区域海拔 1 241.8 m,属大陆荒漠性气候;年平均降水量 56.6 mm,年平均蒸发量 2 289.5 mm;日照长,昼夜温差大,热量充足,无霜期长达 220 d 左右。土壤类型为灌淤土。

田间定植采用的色素万寿菊幼苗于 3 月初在塑料大棚内播种育苗。田间施用的菊花渣滓、颗粒有机肥、微生物菌剂均为莎车晨晓农业科技有限公司生产。其中颗粒有机肥,成分含量为有机质≥45%, $N + P_2O_5 + K_2O \geq 20\%$,微生物菌剂有效活菌数≥2.0 亿/mL,氮磷钾总量≥20%。基肥与追肥所采用的复合肥均为新疆新投农业科技发展有限公司生产,总养分≥45%, $N、P_2O_5、K_2O$ 含量分别为 2%、15%、5%。

1.2 试验方法

选择色素万寿菊连作 7 年的栽培区域和前茬为小麦的色素万寿菊轮作栽培区域设置 6 组处理,各处理组合及有机质、肥料用量如表 1 所示。

表 1 各处理土壤改良及施肥方案

处理	有机质		基肥		追肥	
	种类	用量(kg/hm ²)	种类	用量(kg/hm ²)	种类	用量(kg/hm ²)
CK	—	—	复合肥	225	复合肥	150
轮作	—	—	复合肥	225	复合肥	150
农家肥	—	—	腐熟牛粪	45 000	复合肥	150
生物有机肥	菊花渣滓	900	颗粒有机肥	600	微生物菌剂	225
色素万寿菊秸秆还田	色素万寿菊秸秆	4 500	复合肥	225	复合肥	150
玉米秸秆还田	玉米秸秆	9 000	复合肥	225	复合肥	150

施有机质及基肥:春季依据表 1 土壤改良及施肥方案,将各处理所需的复合肥、颗粒有机肥、农家肥以及自然风干后粉碎的色素万寿菊秸秆、玉米秸秆均匀撒施在土壤表面,翻耕 30 cm 入土。

定植:整地起垄,垄高 20 cm,宽 60 cm,垄沟宽 40 cm,2021 年 4 月 12 日挑选长势一致的色素万寿菊幼苗定植,单垄双行错位种植,株行距为 30 cm × 60 cm,密度为 40 500 株/hm²,各处理设 5 个重复小区,随机区组排列,每个小区定植 20 株幼苗。

追肥:于现蕾期、初花期、盛花期、末花期各追复合肥 1 次,共计 4 次,每次施肥量为 150 kg/hm²,追肥方式为距离色素万寿菊根部 25 cm 处打穴追施。此外,微生物菌剂追肥方式为漫灌时在水流入口处均匀缓慢倒入。

定植后管理:灌溉采用大水漫灌,摘花前浇水频率为 15 d 1 次,6 月中旬开始摘花,每采摘 1 次花浇 1 次水。

1.3 指标观测

1.3.1 生长发育指标观测 各处理随机选取 10 株色素万寿菊挂牌标记用于花期及农艺性状观测。

花期观测:植株现蕾后,依次记录各处理单株

现蕾期(主花序开始现蕾)、初花期(10% 花朵开放)、盛花期(40% 花朵开放)、末花期(70% 花朵开放)的持续时间。

产量测定:自初花期(6 月 17 日)开始,每 10 d 统计 1 批次各处理单株开花数,同时,随机选取 10 朵花测定单花鲜质量,采用紫外-可见分光光度计法测定花朵叶黄素含量,共计测 7 批次,计算单花平均鲜质量、叶黄素平均含量,采用下列公式计算产量。

单株产量(t) = Σ (各次单株开花数 × 各次单花平均鲜质量);

鲜花产量(t/hm²) = 单株产量 × 40 500;

叶黄素产量(kg/hm²) = 叶黄素含量 × 鲜花产量。

农艺性状观测:于盛花期(7 月 17 日)测量各处理冠幅、株高、茎粗、叶长,采用 SPAD-2 便携式叶绿素测定仪测定叶绿素相对含量(SPAD 值),统计植株各级分枝数、叶数,随机选取 10 朵花测定花径、单花干质量。

1.3.2 土壤指标测定 土壤样品采集与贮藏:生长期结束后各处理分别随机选取 5 株植株,将植株整

株挖起并去除根系外围土,采用抖根法^[8]收集须根 2 mm 范围内土壤,去杂,一部分土壤经自然风干、磨碎、过筛后制备成干样于 4 ℃ 冷藏,用于测定土壤化学特性、土壤酶活性;一部分土壤鲜样在 4 ℃ 下贮藏运输,用于测定微生物数量和类群。

土壤化学性质测定:pH 值采用土:水=1:5 酸度计法测定;含盐量采用残渣烘干-质量法测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定。

土壤酶活性测定:脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴

定法测定;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

土壤微生物数量统计:细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基平板表面涂布法;放线菌采用改良高氏 1 号琼脂培养基平板表面涂布法;真菌采用马丁氏培养基平板表面涂布法。

1.3.3 病害观测 于盛花期调查各小区色素万寿菊枯萎病、褐斑病等病害发生状况,枯萎病^[9]、褐斑病^[10]病害分级如表 2 所示,计算各处理植株发病率和病情指数。

发病率=(染病株数/调查总株数)×100%;

病情指数=[Σ(各级病株数×相应级数)/调查总株数×最高级别值]×100。

表 2 色素万寿菊主要病害分级

枯萎病		褐斑病	
分级	特征	分级	特征
0 级	无症状,健康	0 级	无症状,健康
1 级	植株 1/4 以下叶片萎蔫	1 级	植株 1/4 以下叶片产生病斑
2 级	植株 1/2 以下叶片萎蔫	2 级	植株 1/2 以下叶片产生病斑
3 级	植株 3/4 以下叶片萎蔫	3 级	植株 3/4 以下叶片产生病斑
4 级	植株 3/4 以上叶片萎蔫,有茎倒伏现象	4 级	植株 3/4 以上叶片产生病斑
		5 级	植株有褐色坏死斑,花坏死,有全株枯死现象

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据处理并作图,利用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良措施对连作色素万寿菊生长发育的影响

2.1.1 营养生长 如表 3 所示,轮作处理色素万寿菊冠幅最大,达 82.00 cm,极显著高于 CK 等 5 组处理,且其余处理间差异不显著,玉米秸秆还田处理冠幅最小,为 61.33 cm;各处理中生物有机肥处理植株最高,达 68.08 cm,轮作处理次之,为 64.58 cm,二者间无显著差异,但生物有机肥处理显著高于其余处理;茎粗以轮作处理最粗,达 22.28 cm,虽与生物有机肥处理间差异不显著,但显著或极显著粗于其余处理;各处理一级分枝数差异不大,生物有机肥处理最多,达 18.83 个,轮作处理最少,为 16.83 个,二者间差异极显著,但均与 CK 无显著性差异;二级分枝数、三级分枝数均为轮作处理最多,达 105.00、86.67 个,且均极显著多于其

余处理,生物有机肥处理次之,各处理中玉米秸秆还田处理二级分枝数最少,为 65.33 个,显著少于生物有机肥处理,但与 CK、农家肥、色素万寿菊秸秆还田等 3 组处理间差异不显著,各处理三级分枝数差异较大,色素万寿菊秸秆还田处理最少,为 29.33 个,极显著少于除玉米秸秆还田处理外的其余各组处理。

如表 4 所示,色素万寿菊叶长、叶数、叶绿素相对含量均以轮作处理最大,达 20.88 cm、1 699.50 个、57.50,且均显著或极显著高于其余处理,生物有机肥处理次之。各处理中玉米秸秆还田处理叶最短,为 17.18 cm,极显著短于生物有机肥处理,但与 CK、农家肥、色素万寿菊秸秆还田等 3 组处理间差异不显著,叶数以 2 种秸秆还田处理较少,两者间虽然差异不显著,但均极显著少于其余处理;叶绿素相对含量以玉米秸秆还田处理最低,为 49.47,显著或极显著低于除 CK 外的其余 4 组处理。

2.1.2 开花 由图 1 可知,各处理色素万寿菊现蕾期持续时间差异较小,在 12.00~13.00 d,CK、轮作处理持续时间相等且最长,仅显著长于色素万寿菊秸秆还田处理;各处理初花期持续时间在 14.17~

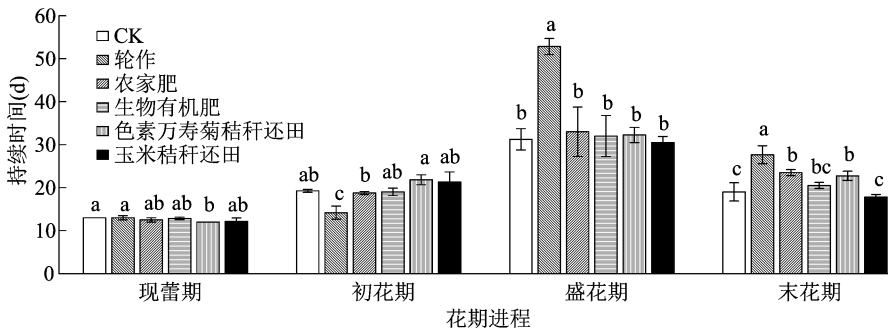
表 3 不同改良措施对色素万寿菊植株生长的影响

处理	冠幅 (cm)	株高 (cm)	茎粗 (mm)	一级分枝数 (个)	二级分枝数 (个)	三级分枝数 (个)
CK	65.00 ± 5.66bB	62.25 ± 2.78bA	19.70 ± 0.79bcAB	18.00 ± 1.00abAB	73.00 ± 5.20bcB	40.00 ± 0.00cdD
轮作	82.00 ± 1.73aA	64.58 ± 1.91abA	22.28 ± 0.74aA	16.83 ± 0.76bB	105.00 ± 2.65aA	86.67 ± 4.62aA
农家肥	65.83 ± 4.01bB	63.00 ± 2.95bA	19.48 ± 1.23bcAB	18.17 ± 0.29abAB	72.50 ± 4.95bcB	46.50 ± 0.71cC
生物有机肥	68.67 ± 1.53bB	68.08 ± 2.75aA	20.83 ± 0.53abAB	18.83 ± 0.76aA	75.67 ± 4.62bB	65.33 ± 4.16bB
色素万寿菊秸秆还田	65.50 ± 5.77bB	63.67 ± 1.61bA	18.88 ± 1.03bcB	18.00 ± 0.50abAB	71.00 ± 1.00bcB	29.33 ± 2.31eE
玉米秸秆还田	61.33 ± 5.01bB	62.58 ± 0.72bA	18.30 ± 0.67cB	17.83 ± 0.76abAB	65.33 ± 5.86cB	36.00 ± 4.00deDE

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

表 4 不同改良措施对色素万寿菊叶片生长的影响

处理	叶长 (cm)	叶数 (枚)	叶绿素相对含量 (SPAD 值)
CK	17.72 ± 0.28bcBC	996.50 ± 20.51cC	51.32 ± 1.37cdCD
轮作	20.88 ± 0.66aA	1699.50 ± 43.13aA	57.50 ± 0.22aA
农家肥	18.15 ± 0.64bcBC	1035.75 ± 47.73cBC	52.08 ± 1.52cBCD
生物有机肥	19.12 ± 1.03bB	1166.75 ± 21.57bB	54.63 ± 1.38bAB
色素万寿菊秸秆还田	18.53 ± 0.74bcBC	821.33 ± 29.20dD	52.93 ± 1.01bcBC
玉米秸秆还田	17.18 ± 0.61cC	847.00 ± 65.44dD	49.47 ± 1.24dD



柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下图同
图1 不同改良措施对色素万寿菊花期的影响

21.83 d,色素万寿菊秸秆还田处理持续时间最长,但与 CK、生物有机肥、玉米秸秆还田等 3 组处理间差异不显著,轮作处理持续时间最短,显著短于其余 5 组处理;盛花期持续时间以轮作处理最长,达 52.83 d,显著长于其余各处理,而其余处理间均差异不显著;末花期持续时间亦以轮作处理最长,达 27.67 d,显著长于其余处理,以玉米秸秆还田处理最短,为 17.83 d,与 CK 和生物有机肥处理间差异不显著,显著短于其余 3 组处理。

如表 5 所示,各处理花径差异较小,轮作处理最大,达 8.82 cm,显著大于 CK、玉米秸秆还田处理、农家肥处理,其中 CK 处理最小,为 8.21 cm,但与除轮作外其余处理间差异不显著;鲜质量以轮作处理

最大,达 15.42 g,显著大于 2 组秸秆还田处理,其余处理间差异不显著;干质量亦以轮作处理最大,达 2.35 g,显著或极显著大于其余处理,而其余处理间差异不显著;各处理间叶黄素含量均无显著差异;开花数以轮作处理最多,达 60.17 个,农家肥处理次之,二者间差异不显著,但均极显著多于其余各处理,玉米秸秆还田处理开花数最少,为 41.00 个,极显著少于除色素万寿菊秸秆还田处理外的其余 4 组处理。

2.1.3 产量 如表 6 所示,各处理色素万寿菊鲜花产量、叶黄素产量均以轮作处理最高,生物有机肥处理次之,农家肥位列第 3,与 CK 相比,3 组处理的鲜花产量依次提升了 47.83%、23.01%、4.86%,叶

表 5 不同改良措施对色素万寿菊植株花朵的影响

处理	花径 (cm)	鲜质量 (g)	干质量 (g)	叶黄素含量 (g/kg)	开花数 (个)
CK	8.21 ± 0.10bA	14.34 ± 0.76abA	2.03 ± 0.07bB	1.71 ± 0.09aA	50.00 ± 1.32bB
轮作	8.82 ± 0.33aA	15.42 ± 1.09aA	2.35 ± 0.17aA	1.73 ± 0.09aA	60.17 ± 1.61aA
农家肥	8.35 ± 0.05bA	14.66 ± 0.06abA	2.02 ± 0.07bB	1.74 ± 0.11aA	57.00 ± 4.44aA
生物有机肥	8.57 ± 0.28abA	14.41 ± 0.65abA	2.11 ± 0.06bAB	1.74 ± 0.08aA	49.25 ± 2.47bB
色素万寿菊秸秆还田	8.65 ± 0.13abA	13.10 ± 1.07bA	2.01 ± 0.10bB	1.70 ± 0.03aA	44.75 ± 1.06bcBC
玉米秸秆还田	8.27 ± 0.35bA	12.93 ± 0.97bA	2.01 ± 0.10bB	1.63 ± 0.13aA	41.00 ± 2.12cC

表 6 不同改良措施对色素万寿菊产量的影响

处理	鲜花		叶黄素	
	产量(t/hm ²)	排名	产量(kg/hm ²)	排名
CK	48.38	4	85.53	4
轮作	71.52	1	130.84	1
农家肥	50.73	3	86.22	3
生物有机肥	59.51	2	104.14	2
色素万寿菊秸秆还田	47.88	5	80.10	6
玉米秸秆还田	45.50	6	82.42	5

黄素产量依次提升了 52.98%、21.76%、0.81%，色素万寿菊秸秆还田处理、玉米秸秆还田处理则相反，鲜花产量分别降低了 1.03%、5.95%，叶黄素含量分别降低了 6.35%、3.64%。

2.2 不同改良措施对连作色素万寿菊根际土壤环境的影响

2.2.1 土壤化学性质 从表 7 可以看出，轮作处理植株根际土壤 pH 值为 7.26，显著高于其余处理，农家肥、玉米秸秆还田处理分别为 6.27、6.28，2 个处理间差异不显著，但均极显著低于其余处理；土壤含盐量以农家肥处理最高，达 0.299 4%，轮作处理最低，为 0.099 4%，二者均与其余处理间差异极显著；生物有机肥处理的土壤有机质含量最高，达 214.02 g/kg，极显著高于其余处理，而其余各处理

间差异不显著；生物有机肥处理土壤碱解氮含量最高，达 63.29 mg/kg，极显著高于其余处理，色素万寿菊秸秆还田处理最低，为 36.77 mg/kg，显著或极显著低于其余各处理；各处理土壤速效磷含量差异相对较大，色素万寿菊秸秆还田处理最高，达 11.21 mg/kg，极显著高于其余处理，CK 最低，为 1.85 mg/kg，极显著低于除农家肥处理外的其余各组处理；生物有机肥处理土壤速效钾含量最高，达 61.33 mg/kg，玉米秸秆还田处理最低，为 40.20 mg/kg，二者均与其余处理间差异极显著，但其余 4 组处理间则差异不显著。

2.2.2 土壤酶活性 如图 2 所示，轮作处理植株根际土壤脲酶活性最高，达 1.72 mg/(g·24 h)，显著高于其余处理，农家肥处理次之，色素万寿菊秸秆

表 7 不同改良措施对色素万寿菊根际土壤化学性质的影响

处理	pH 值	含盐量 (%)	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	6.90 ± 0.11bB	0.149 3 ± 0.000 8dD	71.82 ± 7.75bB	44.37 ± 2.99cBC	1.85 ± 0.37eE	47.43 ± 0.24bB
轮作	7.26 ± 0.14aA	0.099 4 ± 0.000 5eE	72.61 ± 2.70bB	49.00 ± 4.61bcB	3.26 ± 0.15dD	49.33 ± 1.27bB
农家肥	6.27 ± 0.20cC	0.299 4 ± 0.000 9aA	80.82 ± 3.17bB	52.52 ± 3.14bB	2.53 ± 0.38eDE	47.78 ± 1.12bB
生物有机肥	6.89 ± 0.08bB	0.199 1 ± 0.000 9cC	214.02 ± 8.41aA	63.29 ± 4.87aA	4.28 ± 0.59cC	61.33 ± 2.98aA
色素万寿菊秸秆还田	7.00 ± 0.07bAB	0.198 6 ± 0.000 9cC	73.87 ± 5.34bB	36.77 ± 3.93dC	11.21 ± 0.39aA	46.32 ± 1.46bB
玉米秸秆还田	6.28 ± 0.19cC	0.248 0 ± 0.000 4bB	75.07 ± 4.97bB	44.32 ± 1.19cBC	6.68 ± 0.39bB	40.20 ± 1.73cC

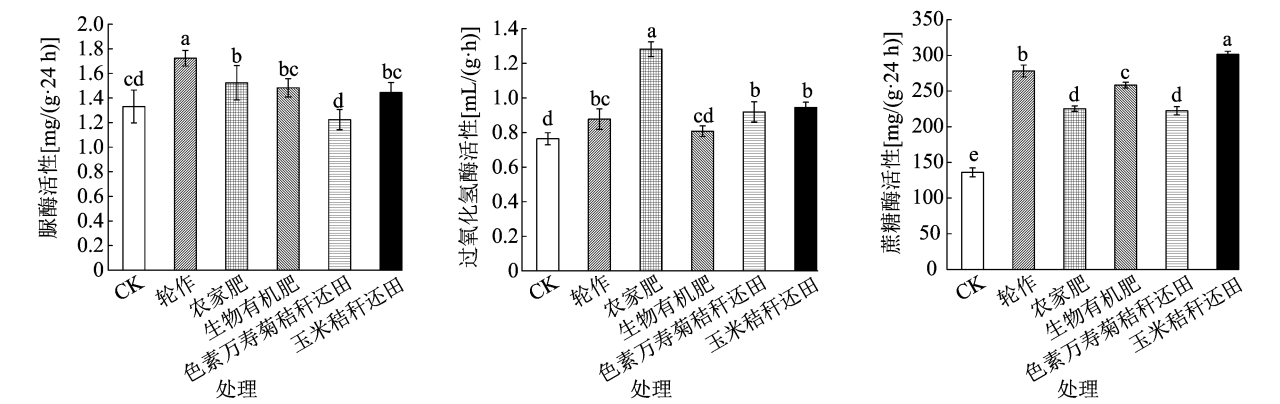


图2 不同改良措施对色素万寿菊根际土壤酶活性的影响

还田处理最低,为 1.22 mg/(g·24 h),显著低于除 CK 外的其余各组处理;农家肥处理土壤过氧化氢酶活性最高,达 1.28 mL/(g·h),显著高于其余处理,CK 最低,为 0.76 mL/(g·h),显著低于除生物有机肥处理外的其余各组处理;土壤蔗糖酶活性以玉米秸秆还田处理最高,达 301.49 mg/(g·24 h),显著高于其余处理,轮作处理次之,CK 最低,为 136.07 mg/(g·24 h),显著低于其余处理。

2.2.3 土壤微生物数量 如表 8 所示,植株根际土壤细菌数量以轮作处理最多,达 7.41×10^6 CFU/g,但与玉米秸秆还田处理、生物有机肥处理间差异不显著,但三者均显著或极显著多于其余处理,色素万寿菊秸秆还田处理细菌数量为 2.49×10^6 CFU/g,极显著少于其余 5 组处理;土壤放线菌数量以玉米秸秆还田处理最多,达 6.29×10^5 CFU/g,但其与农家肥

处理、生物有机肥处理间差异均不显著,而三者均显著或极显著多于其余处理,CK 为 2.87×10^5 CFU/g,极显著少于其余 5 组处理;土壤真菌数量以 CK 最多,达 8.69×10^4 CFU/g,显著或极显著多于其余处理,农家肥处理最少,为 6.14×10^4 CFU/g,显著或极显著少于 CK、轮作、色素万寿菊秸秆还田等 3 组处理。

玉米秸秆还田处理土壤微生物总量最多,达 8.08×10^6 CFU/g,但其与轮作处理、生物有机肥处理间差异不显著,均极显著多于其余处理,色素万寿菊秸秆还田处理最少,为 3.09×10^6 CFU/g,极显著少于其余处理;土壤 B/F 值以轮作处理最高,达 111.42,极显著高于 CK 和色素万寿菊秸秆还田处理,其中色素万寿菊秸秆还田处理为 32.62,极显著低于其余处理。

表 8 不同改良措施对色素万寿菊根际土壤微生物数量的影响

处理	细菌数量 ($\times 10^6$ CFU/g)	放线菌数量 ($\times 10^5$ CFU/g)	真菌数量 ($\times 10^4$ CFU/g)	微生物总量 ($\times 10^6$ CFU/g)	细菌数量/真菌数量 (B/F 值)
CK	5.70 \pm 0.49cC	2.87 \pm 0.33cD	8.69 \pm 0.52aA	6.07 \pm 0.45cC	65.92 \pm 9.40bB
轮作	7.41 \pm 0.45aA	5.03 \pm 0.47bC	7.32 \pm 0.77bcAB	7.99 \pm 0.39aAB	111.42 \pm 0.01aA
生物有机肥	7.15 \pm 0.22aAB	5.79 \pm 0.10aAB	6.45 \pm 0.40cdB	7.79 \pm 0.23aAB	111.06 \pm 4.92aA
农家肥	6.46 \pm 0.45bBC	5.86 \pm 0.24aAB	6.14 \pm 0.21dB	7.11 \pm 0.47bB	105.17 \pm 3.70aA
色素万寿菊秸秆还田	2.49 \pm 0.16dD	5.26 \pm 0.23bBC	7.66 \pm 0.48bAB	3.09 \pm 0.18dD	32.62 \pm 2.55cC
玉米秸秆还田	7.39 \pm 0.21aA	6.29 \pm 0.23aA	6.70 \pm 0.77bcdB	8.08 \pm 0.23aA	111.03 \pm 9.17aA

2.3 不同改良措施对连作色素万寿菊病害发生的影响

如表 9 所示,玉米秸秆还田处理色素万寿菊枯萎病发病率最高,达 84.12%,色素万寿菊秸秆还田处理次之,两者间差异不显著,但均显著高于农家肥和轮作处理,其中轮作处理未发生枯萎病,与其余处理间差异极显著;各处理枯萎病病情指数的差

异与枯萎病发病率相似,玉米秸秆还田处理达 44.56,极显著高于其余处理,色素万寿菊秸秆还田处理次之,轮作处理仅为 0.00,极显著低于其余处理;褐斑病发病率以玉米秸秆还田处理最高,达 99.00%,但其与 CK、农家肥、生物有机肥、色素万寿菊秸秆还田等 4 组处理差异不显著,轮作处理仅为 46.67%,极显著低于其余处理;褐斑病病情指数以

表 9 不同改良措施对色素万寿菊病害发生的影响

处理	枯萎病发病率 (%)	枯萎病病情指数	褐斑病发病率 (%)	褐斑病病情指数
CK	75.63 ± 7.95abA	30.42 ± 5.64bBC	98.75 ± 2.50aA	19.67 ± 0.58aA
轮作	0.00 ± 0.00cB	0.00 ± 0.00dD	46.67 ± 7.35bB	9.33 ± 1.47bB
农家肥	63.33 ± 4.71bA	21.11 ± 5.55cC	97.44 ± 4.44aA	20.00 ± 0.00aA
生物有机肥	70.74 ± 8.11abA	27.91 ± 5.13bcBC	97.92 ± 2.50aA	19.78 ± 1.07aA
色素万寿菊秸秆还田	81.90 ± 8.34aA	32.92 ± 4.02bB	97.50 ± 2.89aA	19.50 ± 0.58aA
玉米秸秆还田	84.12 ± 5.82aA	44.56 ± 3.18aA	99.00 ± 2.24aA	19.67 ± 0.58aA

农家肥处理最高,达 20.00,与 CK、生物有机肥、色素万寿菊秸秆还田、玉米秸秆还田等 4 组处理差异不显著,轮作处理仅为 9.33,极显著低于其余处理。

3 讨论与结论

研究表明,轮作、施入生物有机肥、农家肥均可在一定程度上改善作物的连作障碍,促进植株生长,最终提升作物产量及质量^[11-13]。本研究结果表明,与对照及其他处理相比,进行色素万寿菊-小麦轮作显著或极显著促进了色素万寿菊营养生长,提升了农艺性状,达到了明显的增产效果,生物有机肥处理效果次之,农家肥处理效果位列第 3。另外值得注意的是,轮作处理的盛花期较对照延长了 21.58 d。相反,2 组秸秆还田处理特别是玉米秸秆还田处理对色素万寿菊的生长发育有不同程度的抑制作用,相比于对照,2 个处理植株矮小,各级分枝数少,花朵数减少,花朵干鲜质量及鲜花产量降低,最终叶黄素产量分别下降 6.35% 和 3.64%。这与苹果连作障碍修复研究中万寿菊秸秆施用量过大不利于苹果幼苗生长的结果^[14]相似。同样,据报道,玉米秸秆腐解液中的苯甲酸、对羟基苯甲酸等化感物质对玉米幼苗造成了逆境胁迫,抑制植株生长并加速植株衰老^[15]。但也有相关研究表明,玉米、万寿菊秸秆对连作辣椒的生长具有促进作用^[16]。因此,推测色素万寿菊秸秆、玉米秸秆对色素万寿菊生长发育产生抑制作用的原因可能源于化感作用,但其生理效应与秸秆用量、色素万寿菊发育阶段之间的关系有待进一步研究。

土壤酸化是引起连作障碍的主要原因之一。肖新等研究表明,菊麦轮作可在一定程度上提高连作土壤 pH 值,对减轻连作障碍具有积极作用^[17]。本试验中,与对照相比,轮作处理同样极显著提高了土壤 pH 值,但农家肥和玉米秸秆还田处理则极

显著降低了土壤 pH 值。这与赵凤艳等得出的施入牛粪后降低连作土壤 pH 值的研究结果^[18]一致。

土壤有机质是评价土壤肥力高低的重要指标之一。本试验中,采用菊花渣滓还田结合基施颗粒有机肥的生物有机肥处理,不仅较对照极显著提高了土壤有机质含量以及碱解氮、速效磷、速效钾含量,这与柳玲玲等的研究结果^[19]一致。并且其提高土壤有效养分的改良效果整体优于农家肥及 2 种秸秆还田处理,今后可作为色素万寿菊栽培中提高土壤肥力的推荐措施。此外,2 组秸秆还田处理土壤速效磷含量均极显著高于其他处理,但色素万寿菊秸秆还田处理的碱解氮含量以及玉米秸秆还田处理的速效钾含量却显著或极显著低于其他处理,这可能与植物秸秆由于本身碳氮比较高,在腐熟降解时会消耗氮素等速效养分从而降低土壤的氮元素含量^[20],今后使用中应注意补充氮素等速效养分。

土壤酶参与土壤的物质循环,其活性是表征土壤质量的重要指标。本试验中不同改良措施特别是轮作、农家肥处理对土壤中脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性均起到一定程度的提升作用,这与肖新等^[11]、施娴等^[21]的研究结果一致。值得注意的是,本试验中色素万寿菊秸秆还田后土壤脲酶活性有降低趋势,高晶霞等也指出万寿菊秸秆对土壤脲酶有降解作用^[16],进一步推测较低的脲酶活性也是施入色素万寿菊秸秆后土壤碱解氮含量不高的原因之一。

土壤微生物发生改变是导致连作障碍的重要原因,作物连作后土壤微生物区系比例失衡,多样性降低,导致地力衰竭,土壤肥力变差,研究普遍认为这种失衡表现为土壤细菌、放线菌数量减少,真菌数量增多,土壤从细菌型向真菌型转化,因此土壤细菌与真菌数量的比值被认为是表征土壤健康的重要指标^[22-25]。本试验轮作、生物有机肥、农家

肥以及玉米秸秆还田处理均显著提高土壤细菌、放线菌数量,同时显著降低真菌数量,显著增大土壤 B/F 值,改善了连作色素万寿菊土壤环境。但是色素万寿菊秸秆还田后土壤细菌数量和微生物总量却显著下降,其土壤 B/F 值较对照降低了 50.52%,可进一步探讨色素万寿菊秸秆中的化感物质是否会对土壤有益微生物产生抑制效应,进而发生自毒作用。

本试验中轮作处理植株抗病性最强,不但极显著降低了褐斑病的发病率和病情指数,且未见枯萎病发生,农家肥处理虽然未降低枯萎病发病率但显著降低了其病情指数,而玉米秸秆还田后却提高了枯萎病病情指数,其余处理植株 2 种病害发生状况与对照接近,并未发挥提升植株抗病性的积极作用。但也有研究表明,施入生物有机肥促进了土壤有益微生物的生长,改善了土壤生态环境,有效缓解了西瓜枯萎病和番茄青枯病的发生^[26-27],可进一步筛选对色素万寿菊枯萎病和褐斑病具有防治效果的生物有机肥。

轮作、生物有机肥和农家肥处理不同程度提高了土壤酶活性,增加了土壤微生物数量,平衡了微生物区系,提升了土壤肥力及速效养分,从而促进了色素万寿菊的生长发育,实现了增产增收,其中色素万寿菊—小麦轮作处理改良效果最优,起到缓解色素万寿菊连作障碍的作用。

参考文献:

- [1] 邵友元,杨忠林,陈莹,等. 万寿菊中叶黄素的生产技术及应用[J]. 食品科技,2007,32(12):155-158.
- [2] 刘晓珍,肖逸,戴传超. 盐城药用菊花连作障碍形成原因初步研究[J]. 土壤,2012,44(6):1035-1040.
- [3] 迟金和,隆小华,刘兆普. 连作对菊芋生物量、品质及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业学报,2009,25(4):775-780.
- [4] 赵宝泉,王茂文,丁海荣,等. 药用菊花连作障碍及其缓解措施研究进展[J]. 安徽农业科学,2016,44(9):150-152.
- [5] 邵清松,郭巧生,顾光同,等. 不同种植制度和施肥处理对抗白菊土壤微生物功能多样性的影响[J]. 中国中药杂志,2011,36(23):3233-3237.
- [6] 张凯凯,陈慧杰,赵佳森,等. 稻草还田对设施切花菊品质及连作土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(6):1032-1037.
- [7] 陈希,赵爽,姚建军,等. 微生物有机肥及杀菌剂对切花菊连作障碍的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(4):1231-1236.
- [8] Andreoni V, Cavalca L, Rao M A, et al. Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils[J]. Chemosphere,2004,57

(5):401-412.

- [9] 张红,牛凯丽,聂梅,等. 地被菊品种对镰孢菌侵染的响应差异及抗性综合评定[J]. 植物病理学报,2021,51(1):59-69.
- [10] 孟晓平. 西宁地区色素万寿菊新种质筛[D]. 西宁:青海大学,2013:26-27.
- [11] 肖新,朱伟,杜超,等. 轮作与施肥对滁菊品质、产量及土壤酶活性的影响[J]. 中药材,2015,38(5):889-893.
- [12] 汪建飞,周毅,高祥,等. 施用生物有机肥对连作滁菊产量及土壤微生物区系的影响[J]. 土壤通报,2014,45(2):394-397.
- [13] 萨日娜,陈立新,王娟,等. 不同有机堆肥对番茄产量、品质和土壤性状的影响[J]. 北方园艺,2020(22):42-47.
- [14] 王晓芳,赵玉文,王玫,等. 万寿菊秸秆用于苹果连作土壤生物修复材料的潜力[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(6):933-942.
- [15] 李晶,赵先龙,乔天长,等. 秸秆腐解液对玉米幼苗的生理效应及酚酸类化感成分的检测[J]. 核农学报,2015,29(9):1799-1805.
- [16] 高晶霞,高昱,牛勇琴,等. 不同作物秸秆腐解对连作辣椒生长及根际环境的影响[J]. 西北农业学报,2021,30(8):1220-1226.
- [17] 肖新,朱伟,杜超,等. 轮作与施肥对滁菊连作土壤微生物特性的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1779-1784.
- [18] 赵凤艳,张勇勇,张明琦,等. 有机物料对设施番茄长期连作土壤细菌群落结构的影响[J]. 生态学杂志,2019,38(6):1732-1740.
- [19] 柳玲玲,苟久兰,何佳芳,等. 生物有机肥对连作马铃薯及土壤生化性状的影响[J]. 土壤,2017,49(4):706-711.
- [20] 梁斌,赵伟,杨学云,等. 氮肥及其与秸秆配施在不同肥力土壤的固持及供应[J]. 中国农业科学,2012,45(9):1750-1757.
- [21] 施娴,刘艳红,王田涛,等. 有机肥与烟草专用肥配施对植烟土壤微生物和土壤酶活性的动态变化[J]. 土壤通报,2017,48(5):1126-1131.
- [22] 马海燕,徐瑾,郑成淑,等. 非洲菊连作对土壤理化性状与生物性状的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(18):3733-3740.
- [23] 华菊玲,刘光荣,黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报,2012,32(9):2936-2942.
- [24] Li C G, Li X M, Kong W D, et al. Effect of monoculture soybean on soil microbial community in the Northeast China[J]. Plant and Soil,2010,330(1/2):423-433.
- [25] 姜莉莉,武冲,武海斌,等. 枯萎病拮抗菌 JM-3 对草莓连作土壤酶活性及微生物多样性的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(22):236-240.
- [26] 朱菲莹,田程,张屹,等. 不同施肥处理对土壤微生物群落结构及西瓜枯萎病发生的影响[J]. 中国生物防治学报,2018,34(4):589-597.
- [27] 蔡燕飞,廖宗文,章家恩,等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(3):349-353.